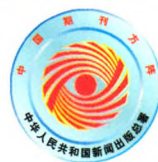


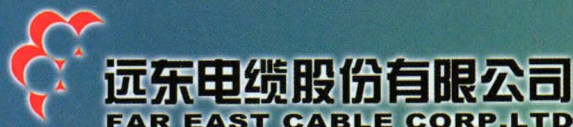
# 高电压技术



Compendex 核心期刊

放电等离子体及其航空航天工程应用专题

July 2014 Vol.40, No.7



远东电缆股份有限公司  
FAR EAST CABLE CORP.LTD

## 成为全球能效管理专家

中国500强企业 年销售额超200亿  
国内电缆行业的上市公司  
品牌价值170.76亿元  
连续十七年销售居全国电线电缆行业领先  
荣获行业的全国质量奖

ISSN 1003-6520



万方数据

中国电力科学研究院 主办  
中国电机工程学会

# 2014-7

## 目 次

### 过电压与绝缘

带电作业关键技术研究进展与趋势	胡毅, 刘凯, 彭勇, 苏梓铭, 吴田(1921)
纳米 TiO <sub>2</sub> 改性绝缘纸的绝缘性能	廖瑞金, 吕程, 吴伟强, 刘团, 柳海滨(1932)
地中敷设绝缘层降低直流接地极跨步电压的方法研究	何金良, 尹晗, 张晓, 胡军(1940)
基于过电压时间序列的铁磁谐振在线建模与反馈控制	司马文霞, 陈莉珺, 杨庆, 袁涛, 杨鸣(1948)
方波脉冲电压下聚酰亚胺材料的老化特性	吴广宁, 彭佳, 刘继午, 罗杨, 朱光亚, 张依强(1957)
广东地区室温硫化硅橡胶防污闪涂料的运行特性	贾志东, 李桐, 陈灿, 杨翠茹, 陈锐民, 林春耀(1963)
污秽成分对 XP-160 绝缘子串交流闪络特性的影响	张志劲, 张东东, 袁超, 蒋兴良, 刘小欢, 胡建林(1970)
铁氧体磁环抑制 252 kV GIS 中 VFTO 的试验研究	关永刚, 郭珮琪, 陈维江, 刘卫东, 段韶峰, 岳功昌(1977)
变电站内短路电流暂态过程及其影响因素	李谦, 张波, 蒋愉宽, 肖磊石(1986)
表面涂层在输电线路导线防晕处理中的应用	朱雷, 刘云鹏, 贾伯岩, 代抗娟, 耿江海(1994)
采用马蹄形锌环抑制直流绝缘子铁帽电解腐蚀的可行性研究	罗凌, 张福增, 任贵清, 廖一帆, 王黎明, 李立涅(2000)
负极性直流电压下棒-棒间隙和绝缘子的雾中放电特性	姚涛, 李学林, 李金, 蔡林, 贾如, 万启发(2007)
电极间距 10~40 mm 时 CO <sub>2</sub> 气体的放电特性	王欢, 汪泉, 项琼, 王晓琪(2013)
水平多层土壤参数反演的粒子群优化	张露, 蔡静, 文习山, 全江涛, 潘卓洪(2018)

### 放电等离子体及其航空航天工程应用专题

等离子体流动控制与点火助燃研究进展	吴云, 李应红(2024)
注入电功率密度、电离能密度及气体速度参量对离子输运率的影响	白敏葭, 周建刚, 毛首蕾, 李超群(2039)
射频放电等离子体气动激励特性的实验研究	宋慧敏, 吴韦韦, 崔巍, 贾敏, 金迪, 梁华(2044)
大气压 Ar/H <sub>2</sub> O 等离子体射流的放电特性	方志, 靳君, 张荐, 姚正秋(2049)
基于可见光图像处理的双射流直流电弧等离子体放电稳定性分析	金锋, 李鹏, 葛楠(2057)
大气压液体阴极等离子体中 O 原子和 OH 自由基的特性	郑培超, 刘克铭, 王金梅, 代玉, 于斌(2065)
大气压非平衡等离子体源参数对输出等离子体浓度的影响及其机理分析	周建刚(2071)
锯齿形等离子体激励器纳秒脉冲放电及红外辐射温度特性	赵光银, 李应红, 方浩百, 化为卓, 韩孟虎, 吴云(2077)
等离子体覆盖金属目标的电磁散射特性	王卫民, 张艺瀚, 贾敏, 宋慧敏, 苒磊, 吴云(2084)
激光冲击次数对 38CrMoAl 钢渗氮耐磨性能的影响	李玉琴, 何卫锋, 王学德, 李靖, 罗思海, 王波(2090)
空气放电等离子体助燃激励器的动力学机理	宋振兴, 丁未, 刘兴建, 何立明, 杜宏亮(2095)
平面线圈电磁耦合的沿面 DBD 气体放电加速诱导气流的实验研究	刘汝兵, 孙伟, 黄印阳, 王萌萌, 牛中国, 林麒(2101)
激光冲击“残余应力洞”的参数敏感性分析及其抑制方法	聂祥樊, 臧顺来, 何卫锋, 赵洁(2107)
同轴枪脉冲放电等离子体特性及其轴向输运速度分析	杨亮, 闫慧杰, 张俊龙, 滑跃, 任春生(2113)
离子推进器中离子束中和及推进过程的全粒子数值模拟	操慧珺, 楚豫川, 曹勇, 张志昊, 王加亮(2119)
等离子体强化点火的动力学分析	张鹏, 洪延姬, 沈双晏, 丁小雨(2125)
基于等离子体的抗冲蚀涂层技术及其在直升机发动机领域的应用	何光宇, 李应红, 王健, 柴艳, 何卫锋(2133)
压气机叶栅内流环境中纳秒脉冲等离子体的气动激励特性	张海灯, 吴云, 贾敏, 李应红, 梁华(2140)
低气压大体积等离子体发生及其电参数特性研究	王秉哲, 刘振, 黄逸凡, 闫克平(2150)

### 高电压新技术

羟基自由基氧化降解对羟基苯甲酸的研究	白敏冬, 马彬, 邵秘华, 程超, 李嘉欣, 成建国(2156)
交流和直流电场作用下的乳化液电脱水特性	陈庆国, 梁雯, 宋春辉, 刘增, 赵忠山, 魏新芳(2162)
针-弧面式高压放电电流特性实验研究	张子生, 王艺, 谢畅, 王春胜, 刘志强(2173)
填充气体对高频无极灯 253.7 nm 共振谱线的影响	王长全, 张贵新(2179)

双极性脉冲放电处理四溴双酚 A 的试验研究 .....	张若兵, 张永锐, 王黎明, 关志成(2184)
高压电场与真空冷冻联合干燥海参方法及其效用分析 .....	白亚乡, 胡玉才(2191)
气力式静电喷枪设计及其喷雾性能的测试 .....	贾卫东, 薛飞, 李成(2197)
脉冲放电降解土壤中有机污染物的神经网络模型 .....	王翠华, 杨胜龙, 鲁那, 张雪, 李杰, 吴彦(2204)
微结构内纳秒脉冲空气放电中微通道的形成及高能电子的产生过程 .....	A.A. Trenkin, V.I. Karelin, I.G. Fedoseev(2211)
介质阻挡电晕放电用于聚丙烯薄膜的表面改性 .....	穆海宝, 高唯, 喻琳, 张冠军, 廖一帆, 李锐海(2217)
低 Reynolds 数净化器除尘效率的计算流体动力学仿真与优化 .....	高得力, 杨学昌, 陈波, 葛鹏(2224)
单/双路馈入磁绝缘感应电压叠加器感应腔角向传输线的优化 .....	魏浩, 孙凤举, 邱爱慈, 梁天学, 呼义翔, 尹佳辉(2232)
基于强电放电技术制备羟基自由基的船舶压载水处理系统设计 .....	陈操, 孟祥盈, 白敏冬, 孙健, 孟凡鹏(2238)
电磁轨道炮固体电枢熔化波烧蚀过程的三维数值模拟研究 .....	巩飞, 翁春生(2245)
正、负电晕对大肠杆菌气溶胶收集的影响 .....	徐羽贞, 郑超, 黄逸凡, 刘振, 闫克平(2251)

## 《高电压技术》编辑委员会

名誉主任委员 陆延昌

主任委员 张文亮

副主任委员 郭剑波 汤涌 关志成 李成榕 廖瑞金

委员 (以姓氏笔画为序)

丁立健	马为民	王庆国	王新新	王黎明	文习山	卢新培	邬雄	刘尚合	刘泽洪	江秀臣	阮羚	阮江军
杨迎建	李剑	李立涅	李庆民	李光范	李若梅	李盛涛	严萍	吴锴	吴广宁	何金良	何俊佳	邱爱慈
邹积岩	陆佳政	陆家榆	陈家宏	陈维江	张芝涛	张乔根	邵涛	周浩	周远翔	郑健超	胡毅	郝艳捧
赵鸿飞	饶宏	徐政	钱宝良	高克利	唐炬	崔翔	宿志一	程时杰	曾嵘	雷清泉	潘垣	薛禹胜

E. Gockenbach(Germany) J. J. Smit(Holland) K. Hidaka(Japan) L. A. Dissado(UK) M. Farzaneh(Canada) M. Muhr(Austria)  
S. Grzybowski(USA) S. M. Gubanski(Sweden)

特约顾问

伍志荣 李勇伟 李锐海 杨黎明 张勤 吴根范 周文俊 梁曦东 舒立春

单位编委

上海华普电缆公司 长缆电工科技股份有限公司 宁波东方电缆股份有限公司 远东电缆股份有限公司 青岛汉缆股份有限公司  
国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司 陶氏化学(中国)投资有限公司 博禄/北欧化工 LG 化学

## 高电压技术 (月刊, 1975 年创刊)

《工程索引》(Ei) 核心期刊

《文摘杂志》(AJ) 收录期刊

中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊

中文核心期刊要目总览收录期刊

《科学文摘》(SA, INSPEC) 收录期刊

日本科学技术社数据库 (JST) 收录期刊

中国精品科技期刊

中国科技核心期刊

《化学文摘》(CA) 收录期刊

《剑桥科学文摘》(CSA) 收录期刊

RCCSE 中国权威学术期刊

主管单位: 国家电网公司

主办单位: 中国电力科学研究院  
中国电机工程学会

编辑出版: 《高电压技术》编辑部

主编: 郭剑波

副主编: 胡毅 李光范

专题副主编: 吴云

编辑部副主任: 严梦

责任编辑: 曹昭君 肖铮 李东

英文编审: 肖铮

编辑部: (027) 59835528

广告发行部: (027) 59835518

传真: (027) 59835529

地址: 湖北省武汉市珞喻路 143 号

邮政编码: 430074

网址: <http://hve.epri.sgcc.com.cn>

电子信箱: [hve@epri.sgcc.com.cn](mailto:hve@epri.sgcc.com.cn)

印刷: 武汉市宏达盛印务有限公司

国内发行: 湖北省邮政局 邮发代号 38-24

国外发行: 中国国际图书贸易总公司 代号 M982

国内定价: 69.00 元/期

中国标准连续出版物号: ISSN 1003-6520  
CN 42-1239/TM

国际刊名代码 (CODEN): GAJIE5

广告经营许可证号: 420100400801

期刊基本参数: CN42-1239/TM \* 1975 \* m \* A4 \* 320 \* zh \* P \* ¥69.00 \* 6600 \* 48 \* 2014-07

# High Voltage Engineering

(Monthly, since 1975)

Vol. 40, No. 7 (Ser. 260)

July 31, 2014

## CONTENTS

### Overvoltage and Insulation

- Research Status and Development Trend of Live Working Key Technology ..... HU Yi, LIU Kai, PENG Yong, SU Ziming, WU Tian(1921)
- Insulating Property of Insulation Paper Modified by Nano-TiO<sub>2</sub> ..... LIAO Ruijin, LÜ Cheng, WU Weiqiang, LIU Tuan, LIU Haibin(1932)
- Method of Reducing DC Grounding Electrode Step Voltage Based on Underground Insulating Layers ..... HE Jinliang, YIN Han, ZHANG Xiao, HU Jun(1940)
- Online Modeling and Feedback Control of Ferroresonance Based on Overvoltage Time Series ..... SIMA Wenxia, CHEN Lijun, YANG Qing, YUAN Tao, YANG Ming(1948)
- Aging Properties of Polyimide Materials Under Square Impulse Voltage ..... WU Guangning, PENG Jia, LIU Jiwu, LUO Yang, ZHU Guangya, ZHANG Yiqiang(1957)
- Operation Characteristics of RTV Antipollution Flashover Coatings in Guangdong Region ..... JIA Zhidong, LI Tong, CHEN Can, YANG Cuiru, CHEN Ruimin, LIN Chunyao(1963)
- Effect of Contamination Component on AC Flashover Performance of Insulator String XP-160 ..... ZHANG Zhijin, ZHANG Dongdong, YUAN Chao, JIANG Xingliang, LIU Xiaohuan, HU Jianlin(1970)
- Test Study on Suppressing VFTO in 252 kV GIS by Ferrite Magnetic Rings ..... GUAN Yonggang, GUO Peiqi, CHEN Weijiang, LIU Weidong, DUAN Shaofeng, YUE Gongchang(1977)
- Transient Process of Short-circuit Current in Substations and Its Influential Factors ..... LI Qian, ZHANG Bo, JIANG Yukuan, XIAO Leishi(1986)
- Application of Surface Coating in the Anti-corona Measure of the Power Transmission Line Conductor ..... ZHU Lei, LIU Yunpeng, JIA Boyan, DAI Hangjuan, GENG Jianghai(1994)
- Feasibility of Using U-shaped Zinc Ring to Restrain Electrolytic Corrosion of Porcelain Insulators' Iron Caps ..... LUO Ling, ZHANG Fuzeng, REN Guiqing, LIAO Yifan, WANG Liming, LI Licheng(2000)
- Negative DC Discharge Characteristics of Rod-rod Gap and Insulator Under Foggy Conditions ..... YAO Tao, LI Xuelin, LI Jin, CAI Lin, JIA Ru, WAN Qifa(2007)
- CO<sub>2</sub> Gas Discharge Characteristics with Electrode Spacing of 10-40 mm ..... WANG Huan, WANG Quan, XIANG Qiong, WANG Xiaoqi(2013)
- Particle Swarm Optimization of Horizontal Multi-layer Soil Parameters Inversion ..... ZHANG Lu, CAI Jing, WEN Xishan, QUAN Jiangtao, PAN Zhuohong(2018)

### Discharge Plasma and Its Applications in Aerospace Engineering

- Progress in Research of Plasma-assisted Flow Control, Ignition and Combustion ..... WU Yun, LI Yinghong(2024)
- Influence of Power Density, Ionization Energy Density and Gas Velocity on Plasma Transport Rate ..... BAI Mindi, ZHOU Jiangang, MAO Shoulei, LI Chaoqun(2039)
- Experimental Investigation on the Characteristics of RF Discharge Plasma Aerodynamic Actuation ..... SONG Huimin, WU Weiwei, CUI Wei, JIA Min, JIN Di, LIANG Hua(2044)
- Characteristics of Atmospheric Pressure Ar/H<sub>2</sub>O Plasma Jet Discharge ..... FANG Zhi, JIN Jun, ZHANG Jian, YAO Zhengqiu(2049)
- Instability Evaluation of a Dual-jet DC Arc Plasma Based on the Visible Image Treatment ..... JIN Feng, LI Peng, GE Nan(2057)
- Characteristics of O Atoms and OH Radicals in Atmospheric Liquid Cathode Plasma ..... ZHENG Peichao, LIU Keming, WANG Jinmei, DAI Yu, YU Bin(2065)
- Influence and Its Mechanism of the Parameters of Atmospheric Non-equilibrium Plasma Source on the Output Plasma Density ..... ZHOU Jiangang(2071)
- Characteristic of Discharge and Infrared Radiation Temperature of Saw-toothed Plasma Actuators Under Nanosecond-pulse Voltage ..... ZHAO Guangyin, LI Yinghong, FANG Haobai, HUA Weizhuo, HAN Menghu, WU Yun(2077)
- Electromagnetic Scattering Characteristics of Plasma-covered Metallic Targets ..... WANG Weimin, ZHANG Yihan, JIA Min, SONG Huimin, CHANG Lei, WU Yun(2084)
- Impact of Laser Shock Times on the Wear Resistance of 38CrMoAl Steel ..... LI Yuqin, HE Weifeng, WANG Xuede, LI Jing, LUO Sihai, WANG Bo(2090)
- Kinetic Mechanism of Air Discharge Plasma Assisted Combustion Actuator ..... SONG Zhenxing, DING Wei, LIU Xingjian, HE Liming, DU Hongliang(2095)
- Experimental Study on Accelerating the Gas Flow Induced by Planar Coil Electromagnetic Coupling Surface DBD Gas Discharge ..... LIU Rubing, SUN Wei, HUANG Yinyang, WANG Mengmeng, NIU Zhongguo, LIN Qi(2101)
- Sensitivity Analysis and Restraining Method of "Residual Stress Hole" Induced by Laser Shock Peening ..... NIE Xiangfan, ZANG Shunlai, HE Weifeng, ZHAO Jie(2107)
- Characteristics of Coaxial Gun Pulse Discharge Plasma and Its Axial Velocity Analysis ..... YANG Liang, YAN Huijie, ZHANG Junlong, HUA Yue, REN Chunsheng(2113)
- Full Particle Numerical Simulations of Ion Beam Neutralization and Propagation Process for Ion Thruster ..... CAO Huijun, CHU Yuchuan, CAO Yong, ZHANG Zhihao, WANG Jialiang(2119)

Kinetic Effects of Plasma on the Ignition Process ..... ZHANG Peng, HONG Yanji, SHEN Shuangyan, DING Xiaoyu(2125)  
 Anti-erosion Coating Technique Based on Plasma and Its Application in Helicopter Aero-engines .....  
 ..... HE Guangyu, LI Yinghong, WANG Jian, CHAI Yan, HE Weifeng(2133)  
 Characteristics of Nanosecond Pulsed Plasma Aerodynamic Actuation in Compressor Cascade Internal Flow Environment.....  
 ..... ZHANG Haideng, WU Yun, JIA Min, LI Yinghong, LIANG Hua(2140)  
 Generation of Large-volume Plasma Under Low Air-pressure and Study of Its Electrical Characteristics .....  
 ..... WANG Bingzhe, LIU Zhen, HUANG Yifan, YAN Keping(2150)

### Novel HV Technology

Study on Oxidation Degradation of 4-HBA by Using Hydroxyl Radicals.....  
 ..... BAI Mindong, MA Bin, SHAO Mihua , CHENG Chao, LI Jiaxin, CHENG Jianguo(2156)  
 Characteristics of Emulsion Electric Dehydration Under AC and DC Electric Field .....  
 ..... CHEN Qingguo, LIANG Wen, SONG Chunhui, LIU Zeng, ZHAO Zhongshan, WEI Xinlao(2162)  
 Experimental Study on Current Characteristics of Needle-cambered High Voltage Discharge .....  
 ..... ZHANG Zisheng, WANG Yi, XIE Chang, WANG Chunsheng, LIU Zhiqiang(2173)  
 Influence of Filling Gas on 253.7 nm Resonance Line of High Frequency Electrodeless Lamp.....WANG Changquan, ZHANG Guixin(2179)  
 Degradation of Tetrabromobisphenol A by Bipolar Pulsed Discharge in Water .....  
 ..... ZHANG Ruobing, ZHANG Yongrui, WANG Liming, GUAN Zhicheng(2184)  
 High Voltage Electric Field and Vacuum Freeze Drying Technology of Sea Cucumber .....BAI Yaxiang, HU Yucui(2191)  
 Design of Air Assisted Spray Gun and Experimental Study on Its Spray Performance..... JIA Weidong, XUE Fei, LI Cheng(2197)  
 Neural Network Model of Organic Pollutant Degradation in Soil by Pulse Discharge.....  
 ..... WANG Cuihua, YANG Shenglong, LU Na, ZHANG Xue, LI Jie , WU Yan(2204)  
 Formation of Micro-channels and Generation of High-energy Electrons in Nanosecond High-voltage Discharges in Air, Developing in Micro-structuring Regime ..... A.A. Trenkin, V.I. Karelin, I.G Fedoseev(2211)  
 Surface Modification of Polypropylene Film Using Dielectric Barrier Corona Discharge.....  
 ..... MU Haibao, GAO Wei, YU Lin, ZHANG Guanjun, LIAO Yifan, LI Ruihai(2217)  
 Dust Collection's Efficiency of Low Reynolds Purifier via Computational Fluid Dynamic Simulation and Optimization.....  
 .....GAO Deli, YANG Xuechang, CHEN Bo, GE Peng(2224)  
 Optimization of Azimuthal Transmission Lines for Magnetically Insulated Induction Voltage Adders Driven by Single or Double Pulses.....  
 ..... WEI Hao, SUN Fengju, QIU Aici, LIANG Tianxue, HU Yixiang, YIN Jiahui(2232)  
 Treatment System of Ballast Water in Oceanic Ships Using Hydroxyl Radical ( $\cdot\text{OH}$ ) Based on Strong Electric-field Discharge.....  
 .....CHEN Cao, MENG Xiangying, BAI Mindong, SUN Jian, MENG Fanpeng(3328)  
 3-D Numerical Study of Melt-wave Erosion in Solid Armature Railgun ..... GONG Fei, WENG Chunsheng(2245)  
 Positive and Negative Corona Discharge on Precipitation of *E.coli*-aerosols .....  
 .....XU Yuzhen, ZHENG Chao, HUANG Yifan, LIU Zhen, YAN Keping(2251)

**Honorary Chairman of Editorial Committee** LU Yanchang

**Chairman of Editorial Committee** ZHANG Wenliang

**Vice Chairmen of Editorial Committee** GUO Jianbo TANG Yong GUAN Zhicheng LI Chengrong LIAO Ruijing

#### Members of Editorial Committee

DING Lijian	MA Weimin	WANG Qingguo	WANG Xinxin	WANG liming	WEN Xishan	LU Xinpei
WU Xiong	LIU Shanghe	LIU Zehong	JIANG Xiuchen	RUAN Ling	RUAN Jiangjun	YANG Yingjian
SUN Caixin	SUN Yuanzhang	YANG Qixun	LI Licheng	LI Qingmin	LI Guangfan	LI Ruomei
LI Jian	LI Licheng	LI Qingmin	LI Guangfan	LI Ruomei	LI Shengtao	YAN Ping
WU Kai	WU Guangning	HE Jinliang	HE Junjia	QIU Aici	ZOU Jiyan	LU Jiazheng
LU Jiayu	CHEN Jiahong	CHEN Weijiang	ZHANG Zhitao	ZHANG Qiaogen	SHAO Tao	ZHOU Hao
ZHOU Yuanxiang	ZHENG Jianchao	HU Yi	HAO Yanpeng	ZHAO Hongfei	RAO Hong	XU Zheng
QIAN Baoliang	GAO Keli	TANG Ju	CUI Xiang	SU Zhiyi	CHENG Shijie	ZENG Rong
LEI Qingquan	PAN Yuan	XUE Yusheng				
E. Gockenbach (Germany)	J. J. Smit (Holland)		K. Hidaka (Japan)		L. A. Dissado (UK)	
M. Farzaneh (Canada)	M. Muhr (Austria)		S. Grzybowski (USA)		S. M. Gubanski (Sweden)	

<b>Abstracted / Indexed in</b>	Ei Compendex	Abstracts Journal
	Science Abstracts (INSPEC)	Cambridge Scientific Abstracts
	Chemical Abstracts	Japan Science & Technology Agency
<b>Competent Authorities</b>	State Grid Corporation of China	<b>Publication Number</b> ISSN 1003-6520
<b>Sponsors</b>	China Electric Power Research Institute	<b>CODEN</b> GAJIE5
	Chinese Society for Electrical Engineering	<b>Add</b> Wuhan 430074, China
<b>Editor and Publisher</b>	High Voltage Engineering Editorial Department	<b>Web Site</b> <a href="http://hve.epri.sgcc.com.cn">http://hve.epri.sgcc.com.cn</a>
<b>Editor in Chief</b>	GUO Jianbo	<b>E-mail</b> <a href="mailto:hve@epri.sgcc.com.cn">hve@epri.sgcc.com.cn</a>
<b>Director</b>	PENG Chunzheng	<b>Tel</b> 86-27-59835528, 59835518
<b>Editor in Charge</b>	CAO Zhaojun	<b>Fax</b> 86-27-59835529

- 集成产品开发系统
- 博士后科研工作站
- 产品全生命周期管理系统
- 产品全面通过KEMA权威认证
- 高压电器工程技术研究中心
- 国家火炬计划重点高新技术企业

## 球“恋”巴西 电“送”全球

思源电气：相约俄罗斯 踢出世界波 唱响中国梦

热烈祝贺思源电气GIS俄罗斯圣彼得堡  
亚尼诺二号变电站成功投运

热烈祝贺思源电气550千伏GIS通过  
国家高压电器质量监督检验中心  
和荷兰KEMA全套型式试验

